

Nederlandse Vertaling van ‘Neuroscience for Dummies’

Door: Mariëlle Grannetia

Van Lennepweg 214

2041 LL Zandvoort

mmgrannetia@gmail.com

Tel: 06 – 41 21 12 95

Part 1: Introducing your nervous system (Introductie van het zenuwstelsel)

Chapter 2: All about the Brain and Spinal Cord (Alles over het brein en de wervelkolom)

Auteur: Frank Amthor

ISBN 978-1-118-08686-5

Deze vertaling is tot stand gekomen in opdracht van de Peirsman Cranio Sacraal Academie als eindopdracht, voor eventueel intern gebruik in de opleiding. Het is niet de bedoeling deze vertaling voor commerciële doeleinden te gebruiken, zoals verkoop aan derden.

Inhoudsopgave

Hoofdstuk 2: 'Alles van het Brein en de Wervelkolom'

Introductie: in dit hoofdstuk	1
Binnen in de schedel: het brein en de onderdelen	2
Neocortex: controleren van de aanstuurders	3
Het vinden van de weg in de neocortex: Dorsale (rug), ventrale (buik), anterieure (voorste) en posterieure (achterste)	4
Gleuven en richels (plooien en groeven): de sulci (groeven) en gyri (hersenvindingen)	5
Linker en rechter hemisferen (hersenhelften)	6
De vier belangrijkste kwabben	7
Frontale kwab	7
Pariëtale kwab	10
Occipitale kwab	10
Temporale kwab	11
Onder de neocortex: de thalamus	11
Het limbische systeem en andere belangrijke subcorticale gebieden	13
Hippocampus	14
Amygdala	14
Orbitofrontale cortex	15
Anterieure cingulate cortex	15
Basale ganglia (basale kernen)	15
Heen en weer bewegen tussen het brein en de wervelkolom	17
Middenbrein	17
De reticulair (netvormig) formatie	18
Verwerken van de basisbeginselen : Pons (brug van Varol) en medulla	19
Coördineren van beweging: Het cerebellum	19

Kijken naar verschillen: omvang, structuur, en andere varianten	20
De mijne is groter dan die van jou!	20
Het is wat binnen zit dat telt: kijken naar verschillen in de structurele organisatie	21
Overwegen van op gender-gebaseerde hersenen verschillen	21
Welk deel van het brein wordt er gebruikt? Lateralisatie verschillen	22
De ontwikkeling van het brein in het wetenschappelijk debat	23
Wervelkolom: schakel tussen het zenuwstelsel	24
Inzicht in de kniepees reflex	25
Bewegen van je spieren	27
<i>Vechten of vluchten: het autonome zenuwstelsel</i>	27
<i>Hoe weten we, wat we weten van neurologische activiteiten</i>	28
<i>Onderzoeken van problemen, veroorzaakt door verwondingen aan het brein</i>	29
<i>Het gebruik van technologieën om het brein in beeld te brengen: eerste technieken tot de EEGs van vandaag</i>	29
<i>PET en SPECT</i>	30
<i>fMRI</i>	31
<i>MEG</i>	32
<i>DTI</i>	32
<i>Optische beeldtechnieken</i>	32

Introductie: in dit hoofdstuk

- Het bekijken van de Hemisferen (halfronden) en kwabben in de hersenen
- Het verkrijgen van de laatste (de primeur/nieuwste) informatie over op gender gebaseerde verschillen in verwerkingsprocessen
- Inzicht in de functie van het ruggenmerg in het centrale zenuwstelsel
- De functie van het autonome zenuwstelsel
- Beeldvorming (imaging) technologie

Op dit moment, als je aan het lezen bent, is je brein bezig met het verwerken van de visuele beelden van deze pagina in letters, woorden en zinnen. Je begrijpt wat deze beelden betekenen door je kennis van Engelse woorden en grammatica en doordat je algemene kennis van de wereld is geactiveerd door deze woorden. Maar je brein doet altijd veel meer dan dit, maakt niet uit hoe hard je je concentreert op het lezen. Het brein heeft controle over en bewaakt voortdurend alle lichaamsfuncties, zodat je kunt niezen, verschuiven in je stoel, je kopje koffie kunt optillen om een slokje te nemen, slikken en ademen.

Het brein is onderdeel van je zenuwstelsel, welke een netwerk is van subsystemen en onderdelen die met elkaar verbonden zijn. Het brein en het ruggenmerg samen (met het netvlies in het oog) vormen het centrale zenuwstelsel. Het ruggenmerg is verbonden met spieren, organen en receptoren via het perifere zenuwstelsel, dat het autonome zenuwstelsel omvat dat onwillekeurige bewegingen regelt (zoals de hartslag, spijsverteringsprocessen en interne temperatuurregeling, om er een paar te noemen). Het zenuwstelsel bestaat uit neuronen of zenuwcellen, die zich bezig houden met de verwerking en communicatie van signalen, en gliacellen die de structuren vormen waarin neuronen wonen en die verschillende huishoudelijke taken doen die ervoor zorgen dat de neuronen functioneel en gelukkig blijven.

Dit hoofdstuk presenteert de grove anatomie van de hersenen en het ruggenmerg (nee, niet grof als walgelijk, maar als groot), gaat in op de controversiële hypothese dat mannelijke en vrouwelijke hersenen informatie verschillend verwerken en geeft een overzicht van de technologie die gebruikt wordt om te begrijpen hoe de hersenen werken.

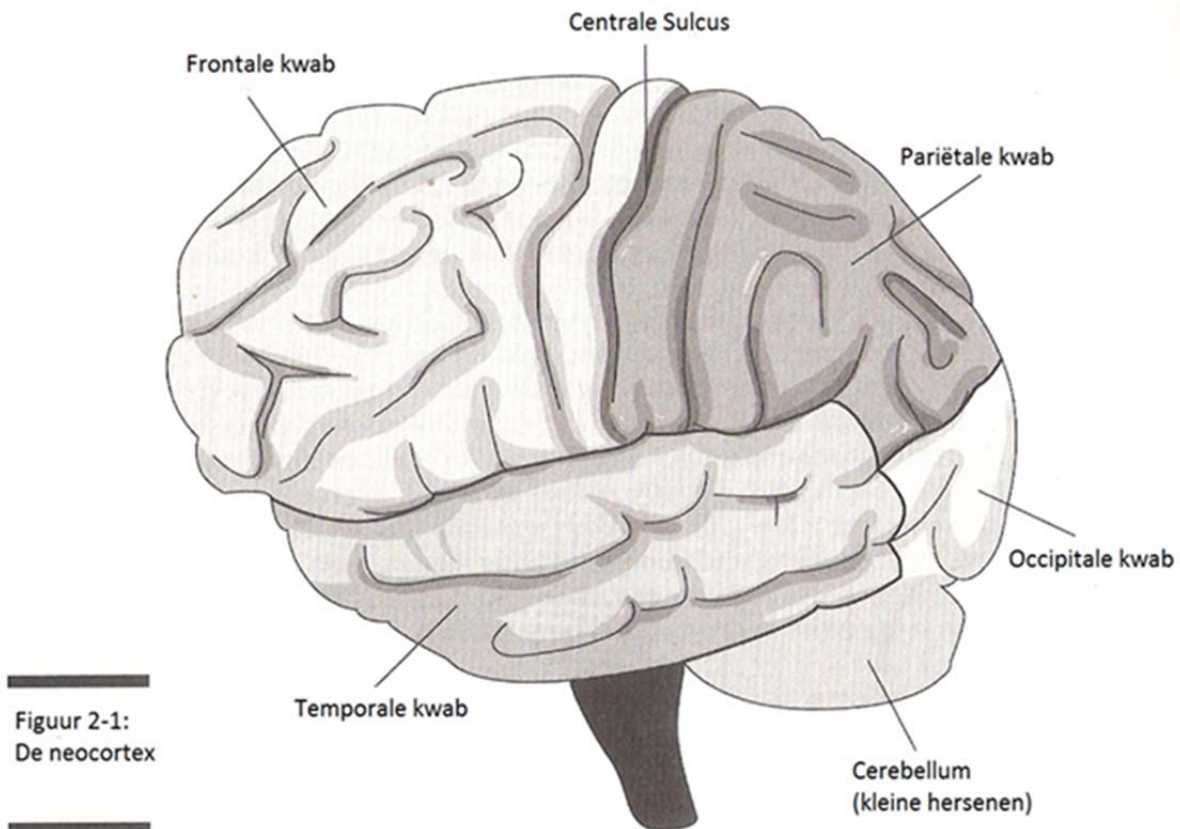
Binnen in de schedel: het brein en de onderdelen

De meest complexe structuur in het universum (waar we van op de hoogte zijn) is de drie pond massa cellen in je schedel, genaamd de hersenen. Het brein bestaat uit ongeveer 100 miljard neuronen, wat ongeveer hetzelfde aantal is als alle sterren in ons melkwegstelsel en het aantal sterrenstelsels in het bekende universum .

Net als elke complexe machine, bestaat het brein uit veel delen, welke uit sub-delen bestaan en die op hun beurt ook weer uit sub-delen bestaan, helemaal naar beneden naar de “bouten en moeren”, ofwel de neuronen.

Figuur 2-1 toont het brein vanaf de linker achterkant. Om een zicht als dit te krijgen, moeten de hersenen uit de schedel gehaald worden door in de ventrale zijde van de hersenen te snijden (waar het brein overgaat in het ruggenmerg) en in de 12 hersenzenuwen die de hersenen verbinden met de ogen, oren, neus, gezichtsspieren, huid en een aantal klieren.

De volgende secties nemen een kijkje op de verschillende delen van de hersenen, van top tot teen.



Figuur 2-1:
De neocortex

Bron: *Neuroscience for Dummies* 2012, Frank Amthor, pagina 24

Neocortex: controleren van de aanstuurders

Praktisch alle zichtbare hersenen die je ziet in Figuur 2-1 is de neocortex. *Neo* betekent “nieuw”, en *cortex* betekent iets als “schil” of “buitenkant”.

Hoewel de neocortex lijkt op een drie dimensionale vlek met een paar gleuven erin, is het meer een groot vel van weefsels dat is verfrommeld om in de schedel te passen. De werkelijke oppervlakte, als het glad gestreken zou worden, is ongeveer 1.5 vierkante meter, ongeveer gelijk aan 1,5 standaard vloertegels. Natuurlijk zou een massa van deze grootte niet in de schedel passen zonder dat het opgevouwen is!

Een grote neocortex onderscheidt zoogdieren van alle andere dieren. De menselijke neocortex is zo groot dat het volledig de rest van het brein bedekt, met uitzondering van een stukje cerebellum (kleine hersenen) dat uit de achterkant steekt. De neocortex maakt de meest complexe mentale activiteit mogelijk, die geassocieerd wordt met het mens-zijn.

Denk aan de neocortex met betrekking tot de rest van het brein als de controleur van de aanstuurders. Diersoorten die bestonden vóór de zoogdieren konden duidelijk bewegen, hun omgeving aanvoelen en vertoonden veel complexe gedragingen zoals die nu worden gezien bij vogels en hagedissen. Deze vaardigheden werden mogelijk gemaakt door hersenstructuren die ouder zijn dan, en hiërarchisch onder, de neocortex. Waar de neocortex voor zorgde, was een nieuw niveau van geavanceerd gedrag – in het bijzonder sociaal gedrag – met als hoogtepunt in de mens het maken van gereedschap en uiteindelijk de ontwikkeling van taal en een hoog niveau van bewustzijn.

De volgende secties introduceren en verklaren de belangrijkste onderdelen van de neocortex: de vier voornaamste kwabben – frontale (voorzijde), pariëtale (wandbeen), temporale (slaapbeen) en occipitale (achterzijde) – waarin de neocortex is onderverdeeld en enkele van de gleuven en richels (plooien en groeven) in het weefsel van de neocortex. Het verklaart tevens de terminologie die wordt gebruikt om te verwijzen naar posities: rug, buik, anterieure (voorste gedeelte) en ga zo maar door.

Het vinden van de weg in de neocortex:

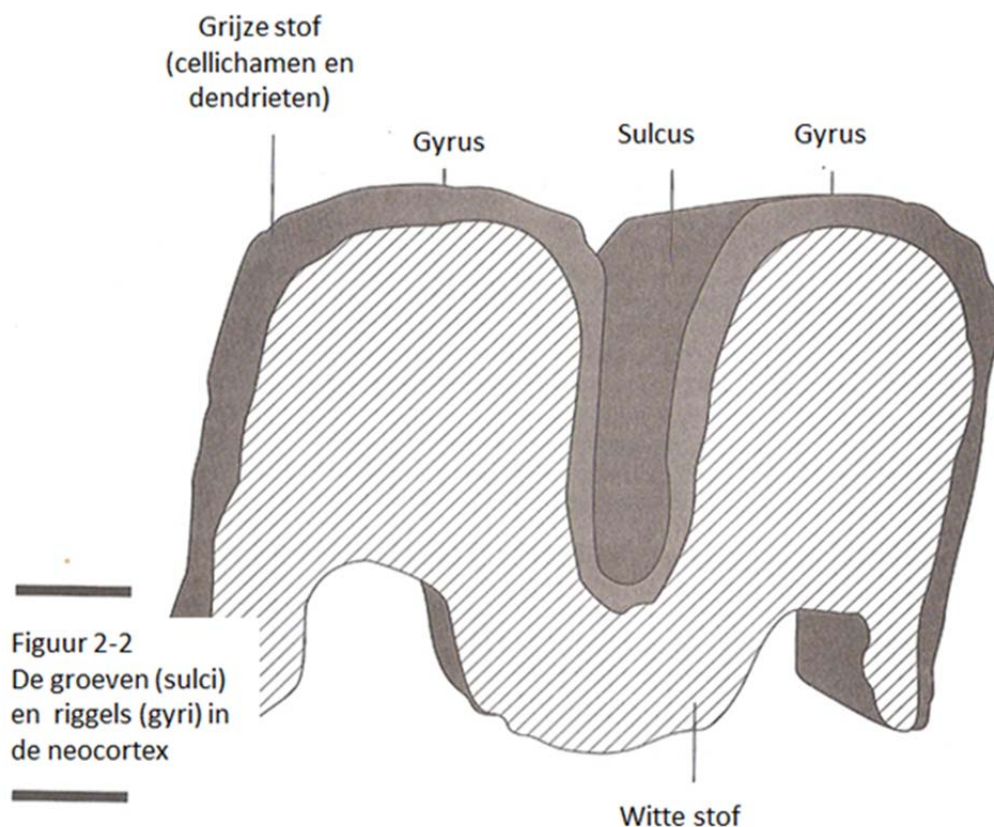
Dorsale (rug), ventrale (buik), anterieure (voorste) en posterieure (achterste)

Stel je een haai voor. De *dorsale (rug)* vin, steekt het water uit vanaf de achterkant van de haai, dus dorsale verwijst naar de achterkant van de haai, welke zich bovenop bevindt. Het tegenovergestelde van dorsale, *ventrale (buik)*, verwijst naar beneden. Het wordt alleen allemaal een beetje ingewikkeld met mensen en andere primaten (mensapen), want we staan op twee benen. Wanneer wordt verwezen naar het ruggenmerg, verwijst *dorsale* naar de achterkant en *ventrale* naar de voorkant, dat, als we staan, niet boven versus beneden is.

Hoe kunnen we verwijzen naar richtingen in het menselijk brein? *Dorsale* verwijst naar de bovenkant en *ventrale* naar de onderkant. De term *anterieure* verwijst naar de voorkant (voorhoofd) en *posterieure* verwijst naar de achterkant (achterkant van het hoofd). **Note:** *Anterieur* en *posterieur* hebben min of meer de oudere verwante termen, respectievelijk *rostral* en *caudal* vervangen (in het brein), maar je kunt deze termen nog steeds tegenkomen.

Gleuven en richels (plooien en groeven): de sulci (groeven) en gyri (hersenvindingen)

De gleuven in de neocortex worden de *sulci* genoemd (enkelvoud: *sulcus*, *groef*) en de richels tussen de gleuven worden *gyri* genoemd (enkelvoud: *gyrus*, hersenvinding). Er bestaat geen wezenlijk verschil tussen het neocorticale weefsel dat zichtbaar is op de oppervlakte van de gyri ten opzichte van dat onder in de sulci (zie Figuur 2-2).



Bron: *Neuroscience for Dummies* 2012, Frank Amthor, pagina 26

In sommige gevallen scheiden sulci corticale kwabben of functies, maar in de meeste gevallen niet. In het brein bevinden gebieden die uitgebreide interactie met elkaar hebben zich vaak dicht bij elkaar, maar uiteindelijk kan elk gebied in het brein interactie hebben met elk ander gebied, waardoor een zeer ingewikkeld theoretisch verpakingsprobleem bestaat buiten het bestek van dit boek. Dus maak je geen zorgen, er zal op het eerste examen niet worden gevraagd het systeem van gyri en sulci af te leiden uit de eerste beginselen!

Dit is wat je wel moet weten: een aantal van de sulci scheiden delen van het brein die verschillende functies hebben (zoals de centrale sulcus dat de frontale kwab scheidt van de parietale kwab) en een aantal van de gyri lijken geassocieerd te zijn met specifieke functies (zoals de verwerking van auditieve input in de superieure temporale sulcus), maar de meeste sulci en gyri geven alleen maar weer hoe de hersenen opgevouwen zijn om in het hoofd te passen en corresponderen niet met een specifieke, geïsoleerde functie. Bovendien variëren de patronen van de gyri en sulci niet alleen aanzienlijk tussen menselijke breinen, maar zelfs tussen de twee helften van hetzelfde brein. De neocortex is het grootste deel van wat *telencephalon* (de grote hersenen) wordt genoemd, wat zoiets betekent als “hoogste” brein gebied.

Linker en rechter hemisferen (hersenhelften)

Het meest duidelijke aspect van het zichtbare brein is dat het bestaat uit twee kwabben die elkaar nagenoeg spiegelen, de linker en rechter hemisfeer (hersenhelft) genaamd. De linker hemisfeer ontvangt de meeste input van en heeft voornamelijk de controle over de rechterzijde van het lichaam. Deze hemisfeer is bij de mens ook gespecialiseerd in taal, in redeneren dat op regels gebaseerd is in en analytische vaardigheden. De rechter hemisfeer heeft betrekking op de linker helft van het lichaam en is beter in visuele patroonherkenning en meer holistische manieren van perceptie. Bij de meeste taken, maken de twee hersenhelften gebruik van een verdeel-en-heers strategie, waarbij de linker hersenhelft de details verwerkt en de rechter hersenhelft het grote geheel voor zijn rekening neemt. De twee hersenhelften zijn verbonden door de grootste uitloper (doorgever van signalen) in de hersenen, de *corpus callosum* (hersenbalk), die 200 miljoen vezels bevat.

Hoe zijn wetenschappers over de verschillen in de capaciteiten van de linker versus rechter hersenhelft gekomen? Een belangrijke bron van bewijs is gekomen van mensen met hardnekkige epilepsie bij wie de corpus callosum doorgesneden is om de verspreiding van de aanvallen van de ene kant van de hersenen naar de andere kant te stoppen. Stimuli kunnen alleen worden voorgelegd aan slechts één hersenhelft van deze patiënten. Wanneer stimuli worden gepresenteerd aan de rechter (niet-taal) hersenhelft van deze patiënten, kunnen ze er niet mondeling over rapporteren, maar ze kunnen met

hun linkerhand (gecontroleerd door de rechterhersenhelft) wijzen naar een plaatje van wat er gepresenteerd werd.

Een paar jaar geleden stelde een uitbarsting van populair psychologisch gebabbel voor dat mensen hun in-the-box, analytische linker hersenhelft verwerking moeten mijden en moeten leren om hun holistische, creatieve rechter hersenhelft te gebruiken. De waarheid is dat we beide hersenhelften gebruiken voor vrijwel alle taken, en dat zelfs linkerhersenhelft georiënteerde taken, zoals het schrijven van poëzie, ook creativiteit omvat.

De vier belangrijkste kwabben

De neocortex is verdeeld in vier grote kwabben: frontale, pariëtale, temporale en occipitale:

- **De frontale kwab (voorhoofdskwab)**, zoals de naam al zegt, omvat de hele neocortex aan de voorzijde, het meest ventrale (voorste) deel van het brein tot een belangrijke sulcus, genaamd de *centrale sulcus*, die ongeveer in het midden van het brein van links naar rechts loopt.
- **De pariëtale kwab (wandbeenkwab)** loopt recht naar achteren vanuit de centrale sulcus tot bijna het meest achterste punt.
- **De occipitale kwab (achterhoofdskwab)** is de kwab op het meest achterste punt. In de meeste hersenen is er geen continue grens tussen de pariëtale en occipitale kwab.
- **De temporale kwab (slaapbeenkwab)** is de tong-achtige verlenging van de grens tussen de occipitale en pariëtale kwabben, die zich uitstrekt in de anterieure (voorste) richting.

De volgende secties leggen elke kwab gedetailleerd uit.

Frontale kwab

De frontale kwab (het brein heeft er natuurlijk één aan iedere kant) van de neocortex zit, zoals de naam aangeeft, aan de voorkant. De frontale kwab loopt vanaf de voorkant van de schedel tot aan een sulcus die deze kwab scheidt van de pariëtale kwab, ongeveer halverwege naar de achterkant van de hersenen (de occipitale kwab). Deze sulcus wordt de *centrale fissure (centrale kloof)*

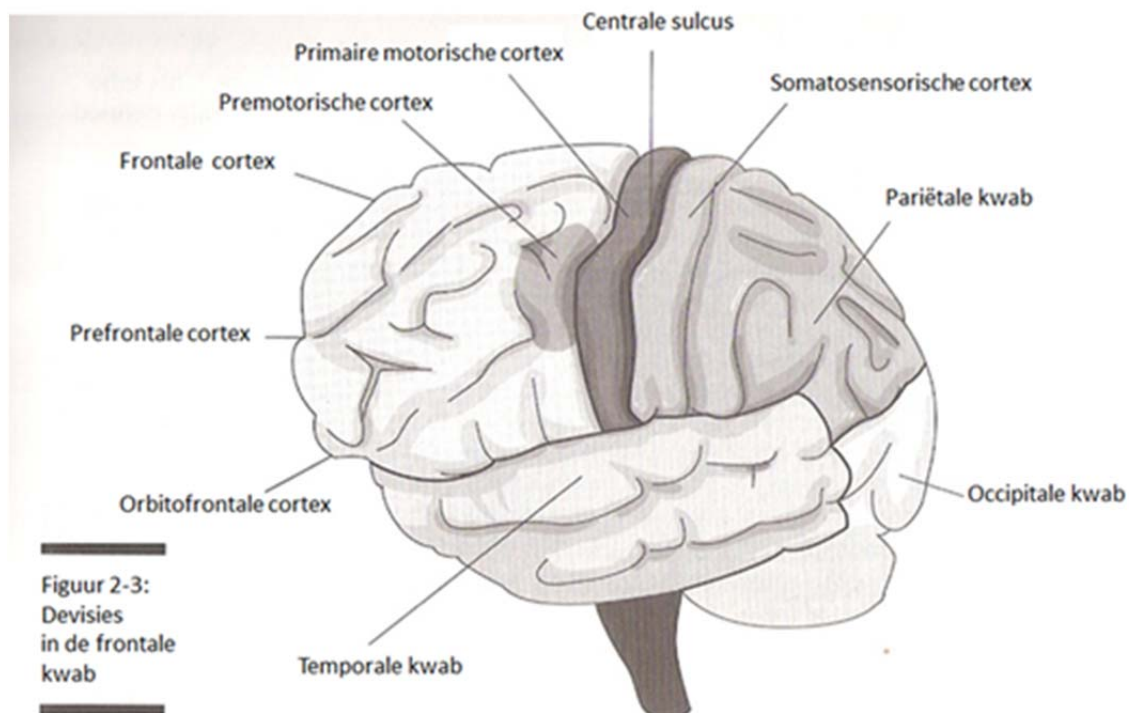
genoemd (voorheen bekend als de fissure, spleet, van Rolando). De frontale gyrus kwab net voor de centrale fissure (kloof) is de *primaire motorische cortex*.

Cellen in dit gebied sturen hun axonen (output/zenuw kabels) door het ruggenmerg naar beneden en maken direct verbinding met motorische neuronen die de spieren activeren. Onderzoekers weten dit doordat neurochirurgen, zoals Wilder Penfield (Wilder Graves Penfield 1891 – 1976 Montreal Neurological Institute), er achter kwamen dat elektrische stimulatie van dit gebied tijdens een kijkoperatie voor epilepsie, spierbewegingen veroorzaakte. Penfield en anderen lieten zien dat er een ordelijke (hoewel vervormde) weergave is tussen het punt dat gestimuleerd wordt in de primaire motorische cortex en de locatie in het lichaam waar de spier zou trillen.

Deze "motorische kaart" (de homunculus genaamd) heeft een aantal interessante eigenschappen. Eén is dat het gebied in de primaire motorische cortex, dat zorgt voor het aansturen van de spieren in het gezicht en in de handen, bijvoorbeeld naar verhouding veel groter is dan het gebied dat zorgt voor de aansturing van veel grotere spieren zoals in de benen. Dit is omdat de spieren in gebieden zoals het gezicht, fijner gedifferentieerd zijn om zeer complexe en subtiele patronen van activatie toe te staan (denk aan de talloze gezichtsuitdrukkingen die we gebruiken), terwijl veel grote spieren meestal slechts variëren in de mate van samentrekking van de gehele spier. Een ander interessant aspect van de homunculus kaart is dat de motorische innervatie van sommige delen van het lichaam, zoals het gezicht en de handen, dicht bij elkaar zitten in de homunculus, maar niet erg dicht bij elkaar in termen van de huidafstand. Je kunt meer over deze kaart lezen in de hoofdstukken 4 en 10.

Figuur 2-3 toont de locatie van de motorische cortex en enkele andere prominente onderdelen van de frontale kwab.

Het voorste deel van de frontale kwab wordt de prefrontale cortex genoemd. Bij de mens neemt de prefrontale cortex het grootste deel van de kwab in beslag. Verplaatsend vanaf de primaire cortex in de voorste richting (voorwaarts, richting de voorkant van de schedel), bevinden zich een aantal gebieden die specifieke functies vervullen. Dicht bij de primaire motorische cortex bevinden zich gebieden die zich bezighouden met de coördinatie en de volgorde van de beweging van een aantal spieren.



Bron: Neuroscience for Dummies 2012, Frank Amthor, pagina 29

Vlak voor deze regio's bevinden zich gebieden die verband houden met de meest abstracte gebieden van planning. Bekijk het spelen van tennis: Als de bal naar je toekomt, kun je (als je tijd hebt) kiezen om ofwel een forehand of een backhand te slaan, met topspin of slice. Je kunt er ook voor kiezen om te blijven staan en de bal helemaal niet te slaan, als je denkt dat hij uit zal gaan. Dit soort beslissingen worden in de meest voorste delen van de prefrontale cortex gemaakt.

De frontale kwab, die betrekking heeft op het uitvoeren van gedrag, kan gezien worden als "gepolariseerd" van anterieur (voorzijde) naar posterieur (achterzijde), wat betekent dat de signalen die gedrag aansturen unilateraal vanaf de voorzijde worden doorgegeven aan het achterste deel. Terug, bij de centrale sulcus, bevindt zich neurale bedrading die bijna direct naar de spieren gaat. Hiervóór bevinden zich gebieden die bewegingen regelen en rangschikken. Vóór dit gebied bevinden zich abstracte planning niveaus, waarop je bijvoorbeeld kiest tussen een verscheidenheid aan verschillende strategieën die betrekking hebben op compleet verschillende spieren, spiergroepen, of, zoals in een tennisslag, de beslissing helemaal niet te bewegen.

De prefrontale cortex heeft de neiging groter te zijn bij primaten dan bij andere zoogdieren en het is groter bij mensen dan bij anderen primaten. Dit is gecorreleerd aan het aantal hoog-niveau planningen die door leden van verschillende soorten gedaan worden. De meeste zoogdieren functioneren meestal op instinct en leven niet in complexe gedifferentieerde sociale groepen. Primaten, aan de andere kant, hebben ingewikkelde man- en vrouw-hiërarchieën en kunnen samenzweringen broeden tegen elkaar die jaren van voorbereiding in beslag kunnen nemen. Mensen bouwen gereedschap, wijzigen hun omgeving voor hun eigen doelen en hebben specifieke relaties met meer dan honderd andere individuen (en dit was zelfs nog vóór Facebook).

Pariëtale kwab

Vlak achter de centrale sulcus/fissuur (kloof) zit de *pariëtale kwab*. Deze kwab strekt zich uit vanaf de centrale kloof terug naar een niet zo goede structureel gedefinieerde grens met de occipitale kwab (zie Figuur 2-1).

De pariëtale kwab bevat neuronen die sensorische informatie van de huid en de tong ontvangen en sensorische informatie van de oren en de ogen, die worden ontvangen in andere kwabben, verwerken. De belangrijkste sensorische input van de huid (aanraking, temperatuur en pijn- receptoren) wordt doorgeven via de thalamus naar de gyrus net achter de centrale fissuur, waar een kaart van de huid bestaat. Deze kaart is vervormd, zodat delen van de huid met een hoge gevoeligheid, zoals het gezicht en de vingertoppen, onevenredig groter zijn dan gebieden met een lage gevoeligheid, zoals de rug. Dit herinnert aan iets dat aan de hand is in de primaire motorische gebieden, net aan de andere kant van de centrale sulcus. De huid homunculus (kaart) lijkt sterk op de primaire motorische cortex kaart. Om een complexe motorische taak uit te voeren, zoals het leggen van een knoop, heb je een sensitieve gevoeligheid nodig om de uiteindelijk gedifferentieerde motorische controle te begeleiden. Hoofdstuk 4 gaat meer in op deze huid-kaart.

Occipitale kwab

De achterkant van het brein wordt de occipitale kwab genoemd. Dit gebied verwerkt visuele input dat vanuit het netvlies naar de hersenen gestuurd wordt. Het netvlies projecteert op een ordelijke, *somatotopische* manier op de

achterste pool van de occipitale kwab, de zogenaamde V1 (visuele gebied 1), zodat de activiteit in verschillende gebieden van V1 gerelateerd is aan wat dan ook in het beeld rondom je huidige gezichtspunt. Met andere woorden, V1 is een andere map.

De occipitale kwab heeft veel andere visuele kaarten die afgeleid zijn van V1 (V2, V3, V4 enzovoort), bijna allemaal compleet toegewijd aan het verwerken van zicht. Andere sub-gebieden boven V1 zijn gespecialiseerd in visuele taken, zoals kleurherkenning, diepte perceptie en bewegingswaarneming. Het zintuig van het gezichtsvermogen wordt verder verwerkt door projecties van deze hogere occipitale kwab gebieden naar andere gebieden in de pariëtale en temporale kwabben, maar deze verwerking is afhankelijk van de vroegere verwerking door de occipitale kwab. Onderzoekers weten dit doordat schade aan V1 blindheid veroorzaakt in dat deel van het gezichtsveld, dat daar projecteert.

Het feit dat het visuele systeem een hele kwab krijgt voor de verwerking, benadrukt het belang van een goed gezichtsvermogen en verwerking ervan onder onze zintuigen.

Temporale kwab

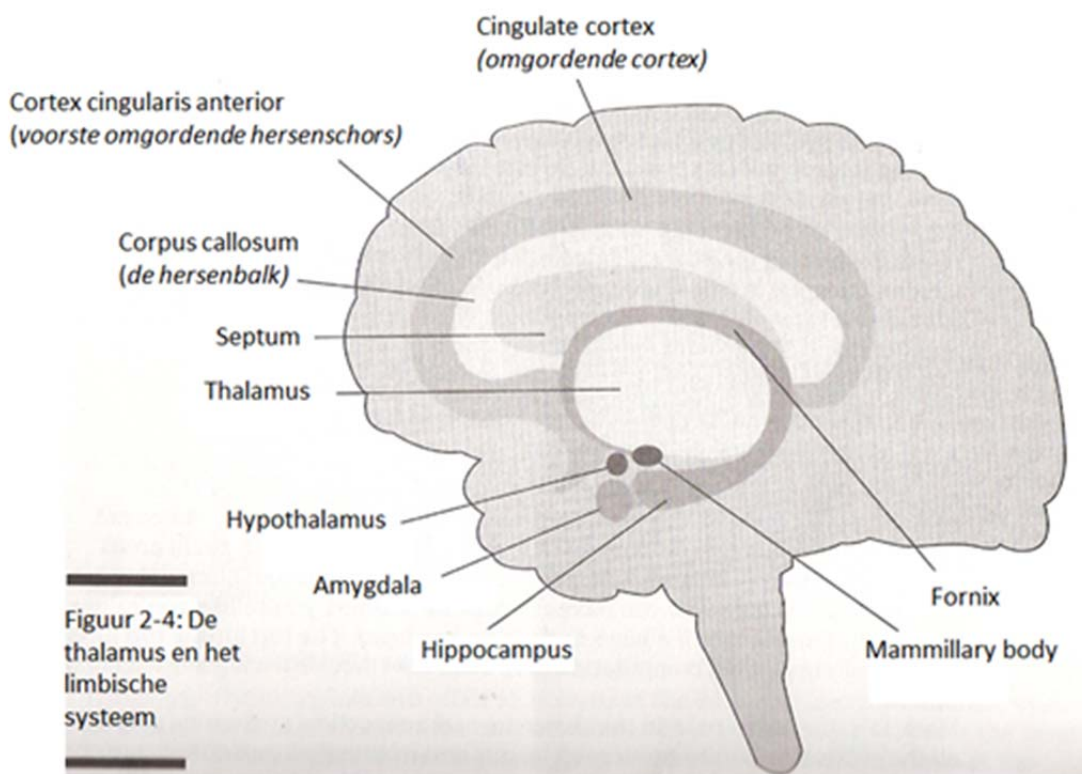
De temporale kwab combineert auditieve en visuele informatie. Het superieure (bovenste) en mediale (centrale) aspect van de temporale kwab ontvangt auditieve input van het deel van de thalamus die informatie doorgeeft van de oren. Het inferieure (lagere) deel van de temporale kwab houdt zich bezig met de visuele verwerking van object- en patroon herkenning. De mediale en anterieure delen van de temporale kwab zijn betrokken bij hogere-orde visuele herkenning (bijvoorbeeld het herkennen van gezichten), als wel bij herkenning die afhankelijk is van het geheugen.

Onder de neocortex: de thalamus

Wat zit er beneden (en hiërarchisch onder) de neocortex? De thalamus. De cortex heeft in de eerste plaats interactie met de rest van het brein via een structuur die de thalamus heet, welke, samen met andere structuren, te zien is in Figuur 2-4.

De thalamus en een andere structuur die de hypothalamus wordt genoemd (welke controle heeft over *homeostatische* lichaamsfuncties zoals temperatuur en circadiane ritmes) vormen de *diencephalon*. De diencephalon is de naam die aan de thalamus en hypothalamus gegeven is door hun positie net onder de neocortex en vanwege hun onderlinge samenhang tijdens de embryonale ontwikkeling.

De wortel van het woord thalamus komt van een Grieks woord (*tholos*) dat gerelateerd is aan een ontvangstruimte van een gebouw, zodat de thalamus gezien kan worden als de poort naar de cortex. Vrijwel alle signalen van de zintuigen worden doorgegeven via de thalamus, net als de signalen van andere subcorticale gebieden. Veel gebieden van de neocortex communiceren ook met elkaar via de thalamus.



Bron: Neuroscience for Dummies 2012, Frank Amthor, pagina 31

Wat doet de thalamus nou precies? Het functioneert als een commando centrum dat controleert welke informatie tussen de verschillende delen van de neocortex en de rest van de hersenen loopt. Terwijl de neocortex zeer fijnmazige analyses kan maken van de patronen waarnaar gekeken wordt,

controleert de thalamus waar er naar gekeken wordt. Als de neocortex beschadigd is, gaan bepaalde vaardigheden verloren. Als de thalamus voldoende beschadigd is, gaat bewustzijn verloren.

Het limbische systeem en andere belangrijke subcorticale gebieden

Onder de neocortex en de thalamus bevinden zich verscheidene belangrijke subcorticale breindelen. Een van de belangrijkste is een netwerk van onderscheiden, fylogenetisch oude celkernen, het zogenaamde *limbische systeem*. (Zeggen dat deze limbisch systeemkernen fylogenetisch oud zijn, betekent dat ze bestonden in soorten veel ouder dan zoogdieren, zoals hagedissen, vogels en waarschijnlijk dinosaurussen). Er bevinden zich verschillende belangrijke structuren in het limbisch systeem (zie Figuur 2-4).

Het limbische systeem is geëvolueerd naar een integratie van het geheugen in algemene gedragsbesturing via de *hippocampus* en de *amygdala*. Deze geheugenstructuren hebben niet alleen een wisselwerking met de neocortex, maar ook met een ouder type van de cortex, genaamd de *cingulate (omgordende) gyrus*. De cingulate gyrus wordt *mesocortex* genoemd, een type cortex dat zich, vóór de neocortex, ontwikkeld heeft tot een high-level controleur, om gedrag te regelen/controleren.

Hoe denken veel breinwetenschappers dat dit werkt? Dieren zoals hagedissen (die lijken op dieren, lang vóór zoogdieren) hebben duidelijk de capaciteit voor geheugen, ondanks het feit dat ze geen neocortex hebben. Het geheugen wijzigt het gedrag van deze dieren via hoe emoties dat bij de mens doen. Wanneer een hagedis een gevecht met een andere hagedis verliest, wordt het *angstig* voor die hagedis, wanneer hij hem weer ziet. Als een hagedis zich bevindt in een gebied, waar het eerder heeft gegeten, krijgt het weer *honger* en kan het smakelijke insecten beginnen te besluipen.

Algemene patronen van gedrag bij dieren kan worden gezien als zijnde georganiseerd rond bepaalde doelen: je bent ofwel op zoek naar voedsel, bezig met het vermijden van roofdieren, op zoek naar een partner, of bezig met het vermijden van kou bijvoorbeeld. Veel van deze doelstellingen komen voort uit instincten en homeostatische mechanismen. Echter, de hersengebieden binnen het limbisch systeem voegen herinneringen van ervaringen uit het verleden en omstandigheden toe om het zuivere instinct te wijzigen: Als je een tijdje niet

gegeten hebt, is het logisch dat je honger hebt, maar misschien niet als er een havik boven je hoofd cirkelt. Het hoogst integrerende gebied voor deze hele limbische berekening kan ooit een keer de cingulate gyrus zijn geweest.

Zoogdieren, zoals mensen, voegen de thalamus en neocorticale systeem toe, bovenop alle subcorticale gebieden die bezeten zijn door onze niet-zoogdieren gewervelde voorouders. In plaats van het vervangen van deze oudere systemen, worden extra lagen toegevoegd die in staat zijn tot meer subtiele computerkracht. Veel roofzuchtige zoogdieren jagen bijvoorbeeld in troepen of in familiegroepen en draaien cirkels om hun prooi in de armen van de rustende leden van de troep te drijven, gebruik makend van zeer complexe en flexibele coöperatieve strategieën. Hagedissen zullen dit nooit doen. Hoewel hagedissen limbische systemen en geheugen gebieden zoals de hippocampus hebben, ontbreekt er een grote neocortex om echt complexe geheugen-voorwaardelijke berekeningen te maken.

In de volgende hoofdstukken zal dieper worden ingegaan op de belangrijkste geheugensystemen van de hippocampus en de amygdala, met inbegrip van de andere delen van de hersenen waarmee ze samenwerken.

Hippocampus

Er werd oorspronkelijk van het limbisch systeem gedacht dat het betrokken was bij het genereren en verwerken van emoties. Echter, het is nu bekend dat een hersenstructuur binnen dit systeem, de hippocampus, een cruciale functie heeft in de creatie van het geheugen. De hippocampus ontvangt input van vrijwel de gehele neocortex. Via gespecialiseerde verstelbare synaptische receptoren, die worden aangeduid als NMDA-receptoren, kan het samen vrijwel elke constellatie van eigenschappen die een object en zijn context bepalen, betrekken.

Amygdala

Vlak voor de hippocampus bevindt zich een andere geheugenstructuur dat hoofdzakelijk betrokken is bij de verwerking van emoties, de amygdala. De amygdala werkt samen met de prefrontale cortex om de belangrijkste emoties van woede, geluk, walging, verrassing, verdriet en in het bijzonder, angst te genereren en te verwerken. Mensen die schade hebben geleden aan hun

amygdalas, hebben verminderd vermogen om op situaties die angst veroorzaken te reageren en deze situaties te voorkomen.

Orbitofrontale cortex

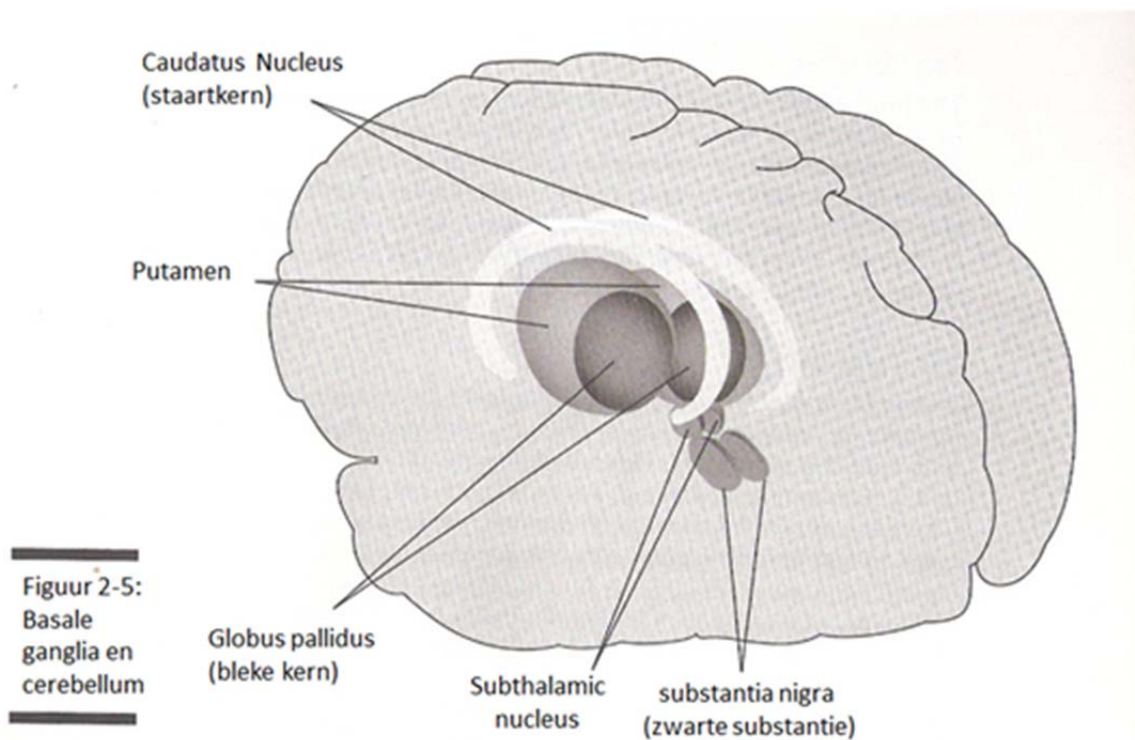
De amygdala en andere structuren van het limbisch systeem, werken samen met het deel van de prefrontale cortex dat de *orbitofrontale cortex* genoemd wordt. Dit is de mediale en inferieure deel van de prefrontale cortex (met uitzondering van de laterale gebieden, de laterale prefrontale cortex genaamd). Veronderstel dat je op een specifieke vrijdagavond, terwijl je naar huis rijdt, op een bepaald kruispunt bijna wordt aangereden door een andere auto. Het is zeer waarschijnlijk dat je nog een lange tijd daarna, bij het naderen van die kruising, vooral op vrijdag, een kleine scheut van angst of ongemak ervaart. Je orbitofrontale cortex heeft de omstandigheden opgeslagen en de amygdala's de angst.

Anterieure cingulate cortex

De amygdala en andere structuren van het limbisch systeem werken eveneens samen met een gebied van de mesocortex, de anterior cingulate cortex genaamd, welke het meest voorste deel van de cingulate gyrus is (zie Figuur 2-4). Dit gebied van de hersenen lijkt toe te zien op de vooruitgang in de richting van welk doel je nastreeft en genereert een "uh-oh"-signaal als de dingen niet lopen zoals het zou moeten, om een wijziging in strategie aan te geven.

Basale ganglia (basale kernen)

Een andere groep subcorticale hersenstructuren die cruciaal zijn bij het plannen, organiseren en het uitvoeren van bewegingen (met de frontale kwabben) zijn de *basale ganglia*. De basale ganglia bestaan uit vijf belangrijke nucleï: de *caudate nucleus* (staartkern), het *putamen* (schil), de *globus pallidus* (bleke kern), de *substantia nigra* (zwarte kern) en *subthalamic nucleus* (zie Figuur 2-5).



Figuur 2-5:
Basale
ganglia en
cerebellum

Bron: *Neuroscience for Dummies 2012, Frank Amthor, pagina 34*

Deze nucleï vormen samen een hoog onderling verbonden systeem dat samenwerkt met de thalamus en de neocortex om gedachte te controleren. De volgende lijst verklaart elke nucleï.

- **De caudate:** Input naar de basale ganglia van de neocortex komt voornamelijk in de caudate en een andere nucleï, putamen genaamd (In feite wordt het caudate-putamen complex tegenwoordig het striatum genoemd). Anatomisch gezien, is de caudate een ring van cellen die het basale ganglia complex omringt, behalve aan de ventrale (buik) kant. De output van de caudate gaat naar de globus pallidus.
- **De putamen:** De putamen is een grote nucleï binnen in het basale ganglia complex met dezelfde input-output verbindingen als de caudate.
- **De globus pallidus:** De globus pallidus is de primaire output nucleï van de basale ganglia via zijn remmende verbindingen met de thalamus.
- **De substantia nigra:** De substantia nigra stuurt in staat stellende verbindingen naar signalen die door het striatum gaan. Deze nucleï staat bekend om zijn betrokkenheid in de ziekte van Parkinson, welke veroorzaakt wordt door de dood van dopaminergische neuronen in deze

nucleus. Zonder deze neuronen, wordt het starten van vrijwillige bewegingen moeilijk.

- **De subthalamic nucleus:** De subthalamic nucleus moduleert (regelt) ook de output van de *globus pallidus*. Deze nucleus is vaak het doelwit van diepe hersenstimulatie via chirurgische implantaten om de symptomen van de ziekte van Parkinson te verlichten.

Zelfs basal ganglia experts geven meteen toe dat de interne functionele architectuur van de basal ganglia tegenwoordig erg slecht begrepen wordt. Deze nucleï zijn op soortgelijke wijze als het cerebellum georganiseerd, een fylogenetisch oude motorcoördinatie centrum waarmee ze samenwerken. Voor meer informatie over het cerebellum, zie de latere sectie “Coördinatie van beweging: het cerebellum.”

Heen en weer bewegen tussen het brein en de wervelkolom

De volgende drie brein gebieden, het middenbrein, de pons en medulla en het cerebellum, maken de overgang tussen het brein en het ruggenmerg. Deze gebieden zijn fylogenetisch *zeer* oud en ze worden in alle gewervelden gevonden. Ze beheersen fundamenteel gedrag, zoals motorieke coördinatie, oogbewegingen en regulering van de homeostase van het lichaam, zoals ademhaling, hartslag en temperatuur. De volgende secties geven de details weer.

Middenbrein

De meest oppervlakkige van deze drie gebieden wordt het middenbrein genoemd. Het middenbrein bevat laag-niveau verwerkers die oogbewegingen beheersen en geluid helpen lokaliseren.

Het voornaamste visuele gebied in de middenhersenen is de *superieure colliculus*, die oogbewegingen, die *saccades* worden genoemd, beheerst. De superieure colliculus ontvangt projecties van ongeveer een tiende van alle retinale ganglioncellen in mensen en een nog hoger percentage in andere zoogdieren. In niet-zoogdier gewervelden, zoals kikkers, is de superieure colliculus (de *tectum* in kikkers en andere niet-zoogdieren genaamd) de belangrijkste visuele doelstelling van het netvlies, en het is het cruciale coördinerende gebied voor het meeste visueel geleid gedrag.

Onderzoek aan het MIT in de late jaren van 1950 toonde aan dat bepaalde ganglioncellen in de ogen van een kikker alleen reageerden op kleine bewegende objecten ter grootte van insecten waar de kikker op aapt, insectdetectoren. Elektrische stimulatie in de vierhevelenplaat (tectum) van een kikker zorgt ervoor dat kikkers of padden met hun tong happen naar denkbeeldige insecten in het visueel gestimuleerde gebied. In zoogdieren zoals mensen, beheerst de superieure colliculus voornamelijk oogbewegingen; het laat de controle van visueel geleid gedrag, zoals het slaan van tennisballen, over aan het thalamische neocorticale systeem, in het bijzonder de wandbeenkwab (pariëtale kwab).

Auditieve vezels in het binnenoor projecteren op een verwerkingsruimte net onder de superieure colliculus, die, voor een nogal voor de hand liggende reden, de *inferieure (lage) colliculus* wordt genoemd. Neuronen in deze structuur geven het signaal door aan de neuronen in het auditieve gedeelte van de thalamus, die op hun beurt signalen doorgeven aan het auditieve gedeelte van de neocortex op het superieure aspect van de temporale kwab.

Het middenbrein omvat ook één van de basale ganglia, de *substantia nigra* (zie Figuur 2-5). Andere nuclei in het middenbrein, zoals de locus coeruleus, ‘*Raphe nuclei*’ en ventrale segmentale gebieden, maken veel maar diffuus modulerende projecties door de neocortex heen. Dit betekent dat ze slechts enkele uit de duizenden synapsen op specifieke doelgroep cellen maken, wat betekent dat ze in veel delen van de hersenen liever een kleine, modulerende excitatie of inhibitie bijdragen aan grote aantallen neuronen in plaats van de belangrijkste oorzaak te zijn van het afvuren in die doelgroep neuronen.

De reticulaire (netvormig) formatie

Een belangrijk gebied in de hersenen dat loopt door een groot deel van de subcortex met inbegrip van het middenbrein is de *reticulaire formatie*. Het woord *reticulair* is afgeleid van het Latijnse woord “net”. De reticulaire formatie kent geen eenduidige structuur, maar is een continue netwerk dat zich uitstrekt door de hersenen en samenwerkt met verschillende gebieden in de hersenen. De reticulaire formatie strekt zich uit naar het middenbrein, pons en de medulla en loopt door tot de reticulaire delen boven het middenbrein en beneden de medulla tot in de wervelkolom. De reticulaire formatie stuurt alle

levensfuncties aan, zoals hartslag, ademhaling, temperatuur en zelfs waakzaamheid. Schade aan de reticulaire formatie resulteert dikwijls in coma of de dood.

Verwerken van de basisbeginselen : Pons (brug van Varol) en medulla

De pons, gelegen onder het middenbrein, bevat nuclei die diverse auditieve en balancerende functies mediëren. Auditieve functies maken neurale vergelijkingen van de geluidsintensiteit en het tijdsverschil tussen de twee oren om te bepalen waar de geluidsbron zich bevindt (in samenwerking met de inferieure (lage) colliculus in het middenbrein). Sommige pons nuclei ontvangen input (inkomende signalen) van het vestibulaire systeem uit het binnenste oor (de semi circulaire kanalen) en communiceren met het cerebellum voor evenwicht. Schade aan deze pons nuclei of aan het vestibulaire systeem veroorzaakt chronische duizeligheid en het onvermogen om op te staan. De pons ontvangt zintuiglijke input van het gezicht en zendt motorische neuronen naar spieren in het gezicht voor het beheersen van zowel bewuste als onbewuste gezichtsuitdrukkingen.

Onder de pons ligt het meest ventrale gebied van het brein, de medulla genaamd. De onderste rand van de medulla maakt het bovenste deel uit van de wervelkolom. Het grootste deel van de medulla bestaat uit neurale delen van weefsel (ook bekend als piramides, vanwege hun vorm die uit gekruiste secties bestaat), die bestaan uit sensorische informatie van de huid, spieren en pezen die tot in het brein lopen. De medulla stuurt motorisch informatie van de primaire motor cortex via de frontale kwab naar de wervelkolom om spieren te laten bewegen. Twee delen in de medulla, genaamd de graciel en de cuneate nuclei, integreren de naar boven en onder gestuurde informatie. De medulla fungeert net zoals de pons als synapse om sensorische informatie van de mond (o.a. de tong en smaak) gezicht en keel door te geven.

Coördineren van beweging: Het cerebellum

Het cerebellum ("kleine brein") is een complex motorische coördinatie structuur dat, door enkele schattingen, net zoveel neuronen bevat als de hele rest van het zenuwstelsel. Net zoals de neocortex, is het cerebellum erg ingewikkeld met gyri en sulci. Het is een van de fylogenetisch oudste delen van

het brein, dus alle gewervelden hebben een cerebellum, zelfs kraakbeenachtige vissen, zoals haaien. Het cerebellum helpt de timing van motorische reeksen te leren en er controle over uit te oefenen. Schade aan het cerebellum veroorzaakt trage, onhandige, robotachtige beweging.

Het cerebellum strekt zich uit vanaf de pons, hoewel de meeste van de verbindingen naar de motorische cortex gaan via de thalamus. Qua structuur, wordt het cerebellum georganiseerd met een buitenste cortex, interne witte stof (axonen stukken) en vier paar kernen diep van binnen. De meeste input en output vindt plaats dóór de diepe nuclei (kernen). Deze activiteit wordt gemoduleerd door de verbindingen tussen deze nuclei en buitenste-of corticale verwerkingsgebieden. De meeste output van het cerebellum remt de thalamus, waar het, via sensorische feedback, corticale gegenereerd lopende motorische controle wijzigt om soepele, fijne, feedback gecorrigeerde bewegingen te bereiken.

De structuur van het cerebellum is gelijk aan de structuur van en interacties tussen de diep gelegen thalamus en de meer oppervlakkige en uitgebreide neocortex in het grotere gedeelte van de hersenen. Raadpleeg de eerdere sectie “De neocortex: Controle van de aanstuurders ” voor meer informatie over de neocortex.

Kijken naar verschillen: omvang, structuur, en andere varianten

Tot op dit punt, is er over het menselijk brein gepraat, alsof elk menselijk brein identiek is. Maar dit zijn ze niet. Dus de vraag is dan hoeveel variatie is er tussen mensen, en is deze variatie van belang? De volgende secties gaan in op enkele van de verschillen.

De mijne is groter dan die van jou!

Een duidelijk verschil in hersenen is grootte (omvang). De gemiddelde grootte van de hersenen is ongeveer 1300 mL. Onder volwassenen komt een variatie rond die norm van 10 procent vaak voor, wat er op neer komt dat de hersenen van veel mensen tot 10 procent groter of kleiner zijn dan de standaard 1300 mL.

De omvang van het brein heeft de neiging op gelijke schaal te zijn met de lichaamsgrootte, dus grote mannen hebben de neiging grotere hersenen te hebben dan kleine vrouwen. Hoe belangrijk is deze variatie? Kennelijk weinig. Er zijn veel gedocumenteerde gevallen van genieën met vrij kleine hersenen, en natuurlijk hebben we allemaal veel idioten meegemaakt met vrij grote hersenen (of tenminste grote hoofden, dat is wat we kunnen waarnemen).

Het is wat binnen zit dat telt: kijken naar verschillen in de structurele organisatie

Hoe zit het met de structurele organisatie van het brein? Iedereen heeft min of meer dezelfde belangrijke gyri en sulci, maar er zijn variaties. In feite, als je zorgvuldig naar elk echt brein kijkt, is er te zien dat de twee hersenhelften zelden exacte spiegelbeelden zijn. (Dat betekent overigens niet dat je kunt vertellen of een persoon rechts- of linkshandig is door te kijken naar de twee hersenhelften.)

In feite, is deze mate van variatie tussen de hersenhelften ook gebruikelijk tussen de hersenen. Dit is een van de redenen waarom epilepsie chirurgen de gebieden rondom het gebied waar ze gericht op zijn, functioneel in kaart brengen: ze moeten er zeker van zijn dat ze geen cruciale gebieden weghalen, zoals die gebieden die taal beheersen. (De andere reden voor het functioneel in kaart brengen is dat de pathologie zelf in de epileptische hersenen een verplaatsing van de functie in de buurt van de normale gebieden kan hebben veroorzaakt.)

Wat niet waarneembaar is op het niveau van de algemene structuur van het brein, is de interne bedrading.

Overwegen van op gender-gebaseerde hersenen verschillen

Hoewel de algemene structuur en gedetailleerde verbindingen van mannelijke en vrouwelijke hersenen bijna identiek zijn, heeft recent onderzoek mannelijke versus vrouwelijke verschillen in wat men “stijlen” van verwerking kan noemen, onthuld, waarbij mannen de voorkeur geven aan grote foto, kaart-achtige manieren van het organiseren van kennis en vrouwen de voorkeur geven aan een meer lineaire, procedureel systeem van kennis. Vraag een man bijvoorbeeld naar een routebeschrijving en hij heeft de neiging om je de

algemene lay-out van waar je je bevindt ten opzichte van waar je probeert heen te gaan te vertellen, terwijl een vrouw de neiging heeft om je de volgorde van de bochten te vertellen, die je moet nemen om er te komen. Ja, Virginia, we denken en spreken soms echt in een andere taal.

De volgende secties bespreken een aantal van de omstreden hypothesen met betrekking tot de verschillen tussen mannelijke en vrouwelijke hersenen.

Welk deel van het brein wordt er gebruikt? Lateralisatie verschillen

Een duidelijk (maar omstreden) verschil dat is gesuggereerd, is dat de mate van specialisatie tussen de twee hersenhelften (lateralisatie) verschillend is tussen mannelijke en vrouwelijke hersenen. Hersenscans hebben de neiging om aan te tonen dat vrouwen meer, en meer symmetrische hersengebieden gebruiken dan mannen doen voor dezelfde taak. Vrouwen blijken meestal ook een hoger percentage verbindende vezels in het corpus callosum te hebben, het weefsel dat de twee hersenhelften aan elkaar verbindt.

Het algemene idee is dat het brein van mannen meer gelateraliseerd is dan die van vrouwen, wat betekent dat functies over het algemeen bij mannen meer beperkt zijn tot één hersenhelft dan bij vrouwen.

Het logisch gevolg van deze hypothese is dat het brein van mannen dus meer gespecialiseerd is, in het bijzonder met betrekking tot ruimtelijke verwerking in de rechter hersenhelft. Het voordeel voor mannen is, volgens dit idee, dat zij in staat kunnen zijn om ruimtelijke, rechter hersenhelft taken in zekere zin dieper te verwerken vanwege de laterale specialisatie. Het nadeel is dat ze vaak meer gehandicapt raken door beroertes of laesies die slechts één kant van de hersenen beïnvloeden, omdat er minder redundantie (overtolligheid) in de vertegenwoordiging voor dat vermogen in de spiegelbeeld locatie in de andere hersenhelft is.

Er wordt ook gesuggereerd dat niet alleen autisme veel vaker voorkomt bij mannen dan bij vrouwen, maar dat autisme zelf kan worden beschouwd als een soort van ultra-mannelijke hersenenconfiguratie met geleerde vaardigheden in bepaalde vormen van complexe verwerking, vergezeld door een slechte taal- en sociale ontwikkeling.

De lateralisatie theorie verklaart de algemene superioriteit van vrouwen in de taalvaardigheid in vergelijking met mannen op deze manier: minder specialisatie staat beide hersenhelften in het brein van vrouwen toe om taal te verwerken.

Het probleem is verre van opgelost. Sommigen stellen voor dat de waargenomen/vastgestelde verschillen in brein activatie en vaardigheden tussen mannen en vrouwen volledig cultureel gebaseerd zijn en niks te maken hebben met enig intrinsiek verschil in de structuur of organisatie van het brein. Anderen (meestal mensen die meer pleiten voor biologisch gebaseerde verschillen) suggereren dat mannelijke versus vrouwelijke hersenen tijdens de ontwikkeling verschillend *gevoelig* zijn voor lateralisatie van de taal versus ruimtelijke vaardigheden.

De ontwikkeling van het brein in het wetenschappelijk debat

Een feit waardoor het nog moeilijker wordt om een van deze hypothesen te evalueren is dat ervaring duidelijk de ontwikkeling van de hersenen verandert. Daardoor kunnen geslachtsverschillen in culturele ervaring de ontwikkeling wijzigen om echte mannelijke / vrouwelijke biologische verschillen in volwassen hersenen te produceren. Zoals je je kunt voorstellen, heeft deze kleine controverse geleid tot een bedrijfstak van proefschriften en artikelen die veel cognitieve wetenschappers aan beide zijden van de kwestie op lonende wijze productief houdt.

Welke mechanismen kunnen gender gebaseerde lateralisatieverschillen tijdens de ontwikkeling produceren? De hormonen testosteron, oestrogeen en oxytocine blijken ontwikkelings- en operationele effecten op het brein te hebben. Testosteron injecties hebben de neiging om mannelijk achtig gedrag en neigingen te veroorzaken in vrouwen, terwijl oestrogeen het tegenovergestelde effect veroorzaakt bij mannen. Oxytocine, een hormoon dat bij vrouwen wordt vrijgelaten tijdens het geboorteproces, wordt verondersteld een soort van “moeder beer” gedrag te mediëren, met hoge mate van verzorging richting degenen binnen de stam, maar hoge agressie tegen diegenen erbuiten.

Wervelkolom: schakel tussen het zenuwstelsel

De wervelkolom is een belangrijk onderdeel van het centrale zenuwstelsel. Specifiek binnen in het ruggenmerg bevinden zich de verbindingen tussen het centrale zenuwstelsel (zoals motorneuronen van de primaire motorische cortex) en het perifere zenuwstelsel (huid, spieren en pees receptoren die naar het ruggenmerg gaan en *alfa* motorneuronen die motor commando's van het ruggenmerg naar de werkelijke spieren doorgeven). De zintuigelijke en alfa motorneuronen vormen het perifere zenuwstelsel, welke vrijwillig gedrag en voelen medieert.

Het ruggenmerg heeft integrerende en coördinerende functies, alhoewel het dichtbij het laagste niveau van de hiërarchie van de regelaars zit. Het medieert feedback/terugkoppeling tussen zintuigelijke en motorische paden voor elk ledemaat en coördineert de ledemaatbewegingen voor de voortbeweging.

Het vinden van centrale patroon generatoren

Enkele van de eerste neurologische experimenten van wetenschappers zoals Sir Charles Scott Sherrington (1857 - 1952, Oxford) hebben het bestaan van centrale patroon generatoren in het ruggenmerg van viervoetige dieren zoals katten aangetoond. De centrale patroon generator controleert de juiste afstemming van de fase van de linker en rechter spieren in de achter of voorpoten tijdens het lopen.

De voor en achterpoten fasering is verschillend voor andere zenuwpoorten in de wervelkolom. Wanneer een viervoetig dier aan het lopen is, zijn de voorpoten in anti-fase met elkaar. De achterpoten zijn ook in anti-fase met elkaar. Dit betekent dat als de linker voorvoet naar voren gaat, de rechter achtervoet ook naar voren gaat en andersom voor de tegengestelde benen. Bij een andere manieren van voortbewegen, zoals draven of rennen, hebben de poten een andere fasering ten opzichte van elkaar. Deze bewegingen worden dan aangestuurd door andere zenuwpoorten met een andere zenuwrelatie.

Door het verbreken van de verbindingen tussen het brein en de wervelkolom bij onderzoeksdieren, bewees Sherrington dat deze zenuwpoorten georganiseerd zijn bij de wervelkolom zelf, onder de conditie dat er geen

controle vanuit het brein kan worden uitgeoefend (want het brein kan de poorten niet aansturen). In een experiment heeft de onderzoeker Sherrington de verbindingen tussen het brein en de wervelkolom bij dieren verbroken. De dieren werden op een loopwiel geplaatst, waardoor Sherrington kon afleiden dat de zenuwpoorten niet alleen zijn gecoördineerd door het brein, maar ook door de wervelkolom zelf. Het brein is wel nodig om te bepalen of het dier moet lopen, draven, rennen, springen of tot stilstand moet komen.

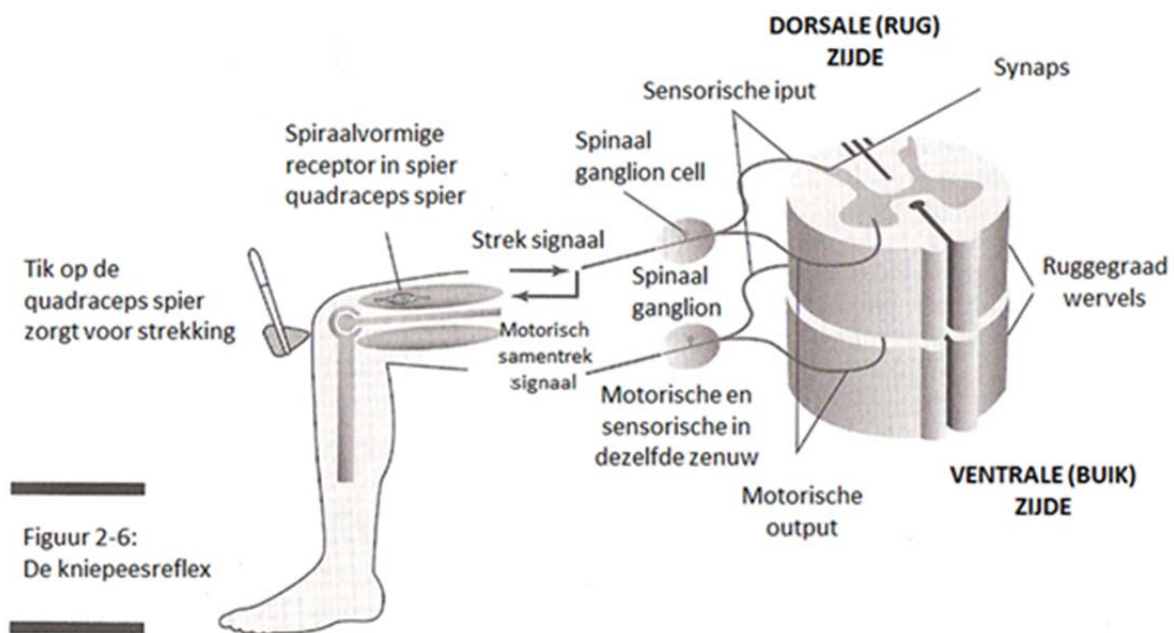
Elke wervel in de wervelkolom bestaat uit lokale modules met het vermogen om zenuwprikkels te verwerken. De prikkels die worden verwerkt zijn afkomstig vanuit de lichaamsdelen die verbonden zijn met die module en de prikkels die afkomstig zijn van andere wervelkolommen die zowel naar en uit het brein gestuurd worden (via de medulla naar de neocortex). De bovenkant van de wervelkolom regelt de spieren en sensorische informatie van de nek. De onderste wervels regelen de aansturing van de tenen en voeten. De wervelkolom segmenten zijn benoemd als 8 hals, 12 thoracale, borst, 5 lumbaal (lenden), 5 sacrale en 3 coccygeal (stuitbeen). De nummering van de wervels verloopt van boven naar beneden: de hoogste hals wervel is C1, de onderste sacrale wervel is S5.

Inzicht in de kniepees reflex

De meest fundamentele unit van gecoördineerde actie in de wervelkolom is de kniepees reflectie: de anatomie van deze reflex is in Figuur 2-6 te zien. Door het buigen van de knie wordt de quadriceps (bovenbeenspieren) spier uitgerekt (wanneer je knie is gebogen). Spiraalvormige receptoren in de spier (quadriceps) sturen prikkels naar de bijbehorende wervel in de wervelkolom. Via interneuronen worden alfa motorische neuronen geactiveerd die onmiddellijk teruggestuurd worden naar de spier, waardoor deze zich samentrekt en het been omhoog schiet (de prikkels worden niet naar het brein gestuurd voor verwerking, maar het been wordt direct aangestuurd door de wervelkolom).

Alfa motorische neuronen zijn neuronen die spiercellen innervieren (het sturen van prikkels ter activatie), waardoor het been wordt bewogen. De cellichamen

van de motorische neuronen liggen in het ventrale deel van de wervelkolom (naar de buikzijde van het lichaam). De axonen (zenuwbanen) die de spieren aansturen, verlaten de wervelkolom via een uitloper die aan de ventrale zijde zit (het voorste deel van de wervelkolom). Aan de achterzijde van de wervelkolom zitten zenuwbanen van sensorische cellen, zoals strek receptoren, die de wervelkolom via de achterzijde binnenkomen.



Bron: Neuroscience for Dummies 2012, Frank Amthor, pagina 41

Wanneer een dokter net onder je knieschijf tikt met een rubberen hamer, dan strekt de pees die loopt van de knie naar de voet, waardoor de quadriceps spier en spiraalvormige receptor, wordt gestrekt. Het onderbeen compenseert voor deze strekking en schiet daarom omhoog. Met deze test kan de integriteit van het perifere zenuwstelsel getest worden (de werking van sensorische en motorische zenuwen in de wervelkolom).

Wat laat Figuur 2-6 zien? Het laat niet zien hoe wervels in de wervelkolom met elkaar en het brein verbonden zijn via zenuwbanen:

- **Het oorspronkelijke bericht wordt naar het brein verstuurd.** Het sensorische signaal vanuit de achterzijde van de wervelkolom komt samen (synapse) in de wervelkolom neuronen die het bericht tot in het brein verzenden (Somato-sensorische cortex, gelegen achter de centrale sulcus).

- **Opdracht -gevende berichten komen vanuit het brein.** Corticale neuronen van de primaire motor cortex belanden via de wervelkolom op dezelfde alfa motorische neuronen die spieren innervieren voor de strekreflex, die ervoor zorgen dat je je been kunt strekken.
- **Communicatie vindt plaats tussen segmenten.** Motorische gebeurtenissen in één segment worden doorgezonden naar andere segmenten om de rest van het lichaam te coördineren. Bijvoorbeeld als je staat en je linkerknie is uit evenwicht, dan verstijft je rechterbeen om te compenseren. Waarschijnlijk beweegt de linkerarm of hand ook ter compensatie. Deze verbindingen zijn ook betrokken in de centrale delen waar patronen worden gegenereerd van poorten die eerder in andere hoofdstukken zijn benoemd.

Bewegen van je spieren

Hoe werken je spieren? Spieren zijn groepen van cellen, verbonden met elkaar in lange parallelle kettingen die eindigen wanneer de spier samenkomt in de pees en vastzit aan het bot. De spiercellen bestaan uit ketens van eiwitten, genaamd actine en myosin. Wanneer deze eiwitten worden gestimuleerd, dan schuiven ze over elkaar waardoor de cel over zijn lengte wordt samengetrokken.

Alfa motorische neuronen stimuleren deze eiwitten door het vrijgeven van de neurotransmitter acetylcholine. Wanneer acetylcholine wordt ontvangen bij receptoren in de spiercel, wordt er een elektrische puls vrijgegeven, waardoor de cel samentrekt (actine-myosine schuiven over elkaar). Op deze manier vindt de samentrekking van de cel en een spier plaats.

Vechten of vluchten: het autonome zenuwstelsel

De voorafgaande secties hebben de belangrijkste componenten van het centrale zenuwstelsel weergegeven (brein en wervelkolom) en hebben uitgelegd hoe het perifere zenuwstelsel (motorische en sensorische zenuwen) vat krijgt op de handeling. Maar wanneer het op het zenuwstelsel aankomt, heeft je lichaam meer dan alleen deze twee. Er is een ander zenuwstelsel buiten het centrale zenuwstelsel dat niet de controle heeft over vrijwillige spieren zoals het perifere zenuwstelsel doet, maar over het hart, klieren en

organen met zachte spieren (niet onder vrijwillige controle) zoals de ingewanden (darmen). Dit is het autonome zenuwstelsel.

Het autonome zenuwstelsel bestaat uit twee divisies, het sympatische en parasympatische, welke in tegenovergestelde richting van elkaar werken. Het sympatische systeem bereidt het lichaam voor op onmiddellijke actie (vechten of vluchten), ten koste van lichaams regulerende functies zoals de vertering. Deze twee systemen maken gebruik van verschillende neurotransmitters – norepinefrine (noradrenaline) voor het sympatische systeem en acetylcholine voor de parasympatische branche. Deze neurotransmitters hebben tegenovergestelde effecten op de doelorganen en andere delen van het lichaam. De neurotransmitter noradrenaline versnelt bijvoorbeeld de hartslag, terwijl acetylcholine een vertragend effect heeft op de hartslag.

Noradrenaline laat de pupillen en de bronchiën in de longen uitzetten. Hiernaast remt de neurotransmitter het verteringssysteem, remt het samentrekking in de blaas en bloedsomloop in de genitaliën. Veel van deze acties worden aangestuurd door de adrenale medulla waar noradrenaline wordt aangemaakt. Overstimulatie van het sympatische systeem leidt tot excessieve stress, wat slecht voor het lichaam is en uiteindelijk resulteert in hartziekten en andere stress-gerelateerde chronische aandoeningen. Sociale conflicten en het gestreste moderne leven kunnen ook leiden tot overstimulatie van het sympatische stelsel, waardoor de geassocieerde lange termijn effecten kunnen optreden.

Hoe weten we, wat we weten van neurologische activiteiten

Hoe weten we eigenlijk hoe het brein werkt? Het is niet altijd voor de hand liggend geweest dat het brein het centrum van gedachten, bewustzijn en lichaamscontrole was. Toonaangevende wetenschappers uit het verleden dachten dat het doel van het brein was om het lichaam via de schedel te koelen. Het hart was volgens hen het centrum van intelligentie. Sindsdien zijn er grote ontwikkelingen geweest op dit gebied. De volgende secties belichten methoden die zijn gebruikt, en nog steeds worden gebruikt, om de geheimen van het brein en het zenuwstelsel te ontrafelen.

Onderzoeken van problemen, veroorzaakt door verwondingen aan het brein

De eerste aanwijzingen voor het functioneren van het brein zijn afkomstig van dysfuncties, veroorzaakt door verwondingen aan het hoofd. In het begin van de 20^{ste} eeuw heeft de wetenschap een grote stap gemaakt om de werking van het brein en zenuwstelsel te begrijpen met de komst van cyto-architectuur (het aanbrengen van kleuren met chemicaliën zoals zilverchromaat om de cel versus uitlopers in verschillende delen van het brein te evalueren). Het traceren van kanalen en het herleiden van axonale processen in cellen waren grote doorbraken in de wetenschap, waardoor verbindingen tussen delen in het brein konden worden geïdentificeerd. In het begin werden kanalen getraceerd door te kijken waar secundaire degeneratie (achteruitgang van het doorgeven van prikkels) plaatsvond vanuit een beschadigd hersendeel naar een aangesloten deel. Zilver gekleurde delen, zoals de Golgi-kleuring, stelden wetenschappers in staat om de structuur van individuele neurologische cellen in detail waar te nemen.

Het gebruik van technologieën om het brein in beeld te brengen: eerste technieken tot de EEGs van vandaag

Op het psychologische gebied, lieten elektro-encefalografie opnames (EEG) in de vroege 20^{ste} jaren zien dat in het brein constant elektrische oscillaties plaatsvinden. Met de EEG techniek konden deze oscillaties waargenomen worden vanaf het oppervlak van de schedel. Deze oscillaties veranderden door het aanbrengen van externe prikkels en wanneer verschillende gedachtepatronen optraden in het brein. De EEG heeft echter een paar defecten (afwijkingen) als methode bij het in beeld brengen van het brein, waardoor het niet de meest geschikte manier is voor gedetailleerd onderzoek.

- De EEG techniek laat gemiddelde waarden van elektrische oscillaties zien over grotere delen, waardoor het lokaliseren van de bron waaruit activiteit aangestuurd wordt moeilijk is waar te nemen. Door het meten van gemiddelden mist de methode de complexiteit van het brein.
- De intrinsieke continue activiteit van het brein lijkt groter te zijn dan het kleinere, voorbijgaande signalen die worden veroorzaakt door bepaalde stimuli, zoals het laten zien van een foto. Het vastleggen van correlaties tussen externe prikkels en specifieke neurologische activiteit in het brein

is daarom met EEG lastig vast te leggen. Deze tekortkoming is deels oplosbaar door de stimulus herhaaldelijk aan te bieden aan de testpersoon. Na honderden testen kunnen de reacties op de stimulus opgeteld worden om zo meer significante resultaten te ontdekken. Deze opnames worden over het algemeen ERPs (Evoked Response Potentials) genoemd. In meer visueel georiënteerde systemen staan deze methoden bekend als VEPs (Visual Evoked Potentials).

Medio 20^{ste} eeuw begonnen wetenschappers micro-elektrodes te gebruiken in dierlijke experimenten om bloot te leggen hoe neuronen actie potentialen konden produceren. In het visuele systeem kon een onderzoeker bijvoorbeeld het elektrische signaal volgen van de reactie van een lichtgevoelige cel in het oog dat oplicht en dat via de retina, de thalamus en de visuele cortex het brein binnendrong. Op overeenkomstige wijze kunnen onderzoekers met micro-elektrodes signalen in kaart brengen in het motorische deel van het brein, zoals spier actie potentialen, alfa motorische zenuwpieken en motor cortex pulsen. Onderzoek met micro-elektrodes kan niet bij mensen worden toegepast, omdat het een invasieve methode is, waarbij de micro-elektrodes via naalden in het lichaam op neuronen geplaatst moeten worden om een signaal af te lezen.

Halverwege de 20^{ste} eeuw maakte de neurologische wetenschap een grote stap toen er nieuwe beeld-technieken beschikbaar kwamen. Deze technieken worden in de volgende paragrafen behandeld.

PET en SPECT

PET staat voor *Positron Emissie Tomografie*. Bij deze techniek worden radioactieve onstabiele zuurstof moleculen of suikers met een korte levensduur, geïntroduceerd in patiënten of vrijwillige testpersonen die cognitieve taken uitvoeren. The meest actieve neuronen absorberen het grootste deel van de radioactieve substantie door het hogere metabolisme van deze cellen. Met een complexe scanner en geavanceerde software kunnen delen in het brein worden vastgesteld waar de radioactieve straling (emissie van positronen: anti-elektronen, ook bekend als beta-straling) het hoogst is.

Meestal wordt er een scan gemaakt wanneer een testpersoon in rust is, welke wordt vergeleken met de scan wanneer de testpersoon de cognitieve taak aan

het uitvoeren is. Aangenomen wordt dat het verschil in activiteit overeenkomt met de delen die nodig zijn voor het uitvoeren van de cognitieve taak. De PET techniek heeft maar een resolutie van enkele millimeters en er kan door het nemen van verschillende scans in die tijd breinactiviteit bestudeerd worden.

SPECT (Single Photon Emission Computed Tomography) is overeenkomstig in methodiek met PET. Het verschil zit in de soort van radioactieve straling. De ingebrachte radio-isotopen in SPECT emitteren gamma-straling in plaats van beta-straling zoals in de PET. Gamma stralen worden met een scanner en software verwerkt om beelden te verkrijgen.

fMRI

De techniek fMRI staat voor functionele MRI (Magnetic Resonance Imaging) en is een afgeleide van MRI. MRI beeld-technieken gebruiken hoge magnetische velden en radio - frequenties om overgangen in de spin (ronddraaiende beweging) van protonen in het brein te detecteren. Voordat MRI de algemeen geaccepteerde term was, noemde men deze techniek ook wel NMR (Nuclear Magnetic Resonance).

De driedimensionale reconstructie van het gebied geven een goed contrast tussen delen van het brein met hoge concentratie van neuronen (grijze stof) ten opzichte van delen die voornamelijk uit weefsel bestaan die prikkels geleiden (witte stof). In fMRI wordt de bloedcirculatie en de opname/vrijgave van zuurstof in bloed dynamisch gedetecteerd met een tijdsresolutie van enkele seconden. Veranderingen in bloedcirculatie en de vrijgave van zuurstof zijn maatregelen van het metabolisme, waarvan wordt aangenomen dat zij in één op één relatie staan tot neurologische activiteit.

De ruimtelijke resolutie van fMRI is een ordegrootte slechter dan MRI in hetzelfde instrument. Daarom wordt er eerst een structurele scan met MRI gedaan en daarna wordt er een scan uit de fMRI overheen gelegd. Op deze manier worden delen blootgelegd die verschillende activiteiten hebben tijdens rust en bij het uitvoeren van taken. Omdat fMRI niet gebruikmaakt van radioactieve isotopen wordt de methode als veilig beschouwd en kunnen de analyses meerdere malen herhaald worden in een testsessie, zodat bruikbaar signaal tot ruis verbeterd kan worden.

MEG

MEG (magnetoencephalography) is gebaseerd op de natuurkunde van elektrische en magnetische velden. Actieve neuronen genereren elektrische stroompjes die in neuronen en de omgevende ruimtes tussen cellen lopen (extracellular space). EEG detecteert deze stroompjes nadat zij zich verspreiden in de ruimtes tussen cellen, waaronder de schedel tussen de elektroden en het brein, wat leidt tot slechte ruimtelijke resolutie van de meetmethode.

Een fundamentele eigenschap van elektrische stromen is dat zij magnetische velden produceren, welke niet worden geordend in tussenkomende elektrische geleiders. De neurologische magnetische velden zijn extreem klein en analyses luisteren nauw. Daarom zijn de kamers, waarin de MEG-meetinstrumenten staan, afgeschermd van andere magnetische velden van buitenaf door dikke isolatie met specifieke materialen. Hiernaast worden er meetinstrumenten gebruikt om exotische lage magneetvelden te detecteren in het brein, genaamd SQUIDs: *superconducting quantum interference devices*. Huidig onderzoek en medische instrumenten maken gebruik van dergelijke SQUIDs in het gehele brein om grote delen van het brein in kaart te brengen. MEG heeft op het moment een vergelijkbare tijdsresolutie als EEG's en een ruimtelijke resolutie in de ordegrrootte van MRI's.

DTI

DTI (Diffusion Tensor Imaging) is een variant van MRI en wordt ook wel diffusie MRI genoemd. DTI meet de beweging (diffusie) van water in het brein. Water beweegt gemakkelijk door het cytoplasma van lange cilindervormige neurale axonen. Daarom kunnen via DTI effectief uitlopers van axonen worden geïdentificeerd. Het is een belangrijk klinisch instrument omdat uitlopers van axonen kunnen worden beschadigd bij afwijkingen in het brein.

Optische beeldtechnieken

Optische beeldtechnieken is een veelbelovende tak van onderzoeksmethoden die zowel veranderingen in absorptie als het verstrooien van licht bij neuronen, door elektrische activiteit, in beeld kunnen brengen. Bij deze techniek kan ook gebruik worden gemaakt van lichtgevende pigmenten die in kleur veranderen wanneer zij zich bevinden in gebieden met een hoge concentratie van ionen

(zoals Calcium), die de neuronen instromen tijdens activiteiten. Optische experimenten hebben zich tot nu toe alleen beperkt tot geïsoleerd weefsel uit testdieren. Veranderingen in de verstrooiing of absorptie van licht is in beperkte mate bij de mens toegepast, waar optische toegang tot het lichaam mogelijk is (zoals retina of cortex tijdens operaties). Er bestaan ook technieken die gebruik maken van infrarood licht voor het verkrijgen van opnames via de schedel.